

Streszczenie

W pracy opisano badania czasów relaksacji spinowej jonów magnetycznych wbudowanych w nanostruktury półprzewodnikowe. Zastosowanie nanostruktur półprzewodnikowych wykonanych z materiałów o różnych stałych sieci krystalicznej pozwoliło na uzyskanie próbek różniących się naprężeniem. Celem pracy było zbadanie wpływu naprężenia obecnego w bezpośrednim otoczeniu jonu magnetycznego na czas relaksacji spinowej jonu manganu Mn^{2+} oraz jonu kobaltu Co^{2+} . Zasadniczą cechą różniącą obydwie jony jest wartość orbitalnego momentu pędu, która dla jonu manganu Mn^{2+} jest równa zero ($L = 0$), zaś dla jonu kobaltu Co^{2+} jest większa od zera ($L = 3$). Z tego powodu oddziaływanie spin-orbita jest znacznie silniejsze w przypadku jonu kobaltu, a co za tym idzie silniejszy jest spodziewany wpływ naprężenia sieci krystalicznej na czas relaksacji spinowej.

W badaniach wykorzystano dwa systemy nanostruktur: studnie kwantowe $(\text{Cd}, \text{Mn})\text{Te}/(\text{Cd}, \text{Mg})\text{Te}$, dla których poziom domieszkowania manganem wynosił około 0,25%, oraz pojedyncze kropki kwantowe CdTe/ZnTe z pojedynczymi jonami kobaltu Co^{2+} .

W przypadku studni kwantowych przeprowadzono pomiary optycznie wykrywanego rezonansu paramagnetycznego (ODMR) w polu magnetycznym o arbitralnie wybranym kierunku, w specjalnie do tego celu zaprojektowanym uchwycie (antenie) zapewniającym silne sprzężenie z promieniowaniem mikrofalowym. Wyniki pomiarów połączone z symulacjami numerycznymi pozwoliły na wyznaczenie wartości D : indukowanego naprężeniem parametru osiowej składowej pola krystalicznego Hamiltonianu spinowego. Parametr D jest bezpośrednio związany z deformacją studni kwantowej poprzez parametr

STRESZCZENIE

G_{11} opisujący siłę sprzężenia pomiędzy spinem a siecią krystaliczną. Badania wykonano dla serii próbek różniących się zawartością magnezu w warstwie bufora. Taki sposób zaprojektowania próbek skutkowało uzyskaniem zadanej wartości deformacji w warstwie studni kwantowej. Uzyskanie konkretnych wartości deformacji zostało pośrednio potwierdzone na podstawie wyników badań magnetospektroskopowych oraz bezpośrednio (dla wybranych próbek) na podstawie rezultatów rozpraszania promieniowania rentgenowskiego. Identyfikacja przejść ekscytonowych związanych z lekkimi i ciężkimi dziurami w widmach odbicia światła białego pozwoliła na wyznaczenie wartości potencjału deformacyjnego w CdTe: $b = (-0,94 \pm 0,08)$ eV. Uzyskane wyniki umożliwiły też wyznaczenie wartości parametru sprzężenia spin-sieć dla jonu Mn^{2+} w CdTe: $G_{11} = (72,2 \pm 1,9)$ neV. Otrzymana wartość G_{11} jest większa niż jedyna występująca do tej pory w literaturze ($57 \pm 1,3$ neV). Różnicę można przypisać odmiennym technikom wzrostu próbek – w tej pracy wykorzystano epitaksję z wiązek molekularnych (MBE), a w badaniach prezentowanych w literaturze użyto próbek objętościowych, które były wytworzone zmodyfikowaną metodą Bridgmana. Do wyznaczenia czasów relaksacji spinowej wykorzystano rozdzielone w czasie badania ODMR. Otrzymane wyniki pokazują, że w badanym zakresie naprężeń czas relaksacji spinowej jonu manganu Mn^{2+} skraca się wraz z rosnącą wartością deformacji. Dodatkowo zmierzono zależność szybkości relaksacji spinowej od pola magnetycznego oraz temperatury. Uzyskane wyniki są dobrze odtwarzane w modelu bazującym na równaniach kinetycznych opisujących sześciopoziomowy system zadany Hamiltonianem spinowym. Dominującym mechanizmem relaksacji jest jednofononowy mechanizm bezpośredni.

Przeprowadzenie analogicznych badań w przypadku jonów kobaltu Co^{2+} było niemożliwe z powodu zjawiska wygaszania fotoluminescencji przez przejścia wewnątrzcentrowe. Problem ten rozwiązano poprzez obniżenie wymiarowości nanostruktur. Z tego powodu badania jonu kobaltu prowadzone były dla samozorganizowanych kropek CdTe/ZnTe. Na podstawie badań widm fotoluminescencji w polu magnetycznym oszacowano wartości parametru D oraz efektywność transferu polaryzacji pomiędzy ekscytonem a jonom kobaltu.

Otrzymano wartość bliską jedności, co oznacza, że potrzebny jest średnio jeden ekscyton, aby zmienić wartość rzutu spinu jonu kobaltu na oś kwantyzacji. Ponadto przeprowadzono pomiary czasów relaksacji spinowej, które wykazały, że szybkość relaksacji jonu Co^{2+} jest o ponad rząd wielkości większa niż jonu Mn^{2+} . Co ciekawe, w otrzymanych wynikach czasy relaksacji nie zależały od wartości parametru D . Wyznaczona dla Co^{2+} zależność czasu relaksacji od pola magnetycznego jest podobna do tej otrzymanej dla jonu manganu, co ponownie sugeruje bezpośredni mechanizm relaksacji.

Dodatkowo, wyzwania eksperymentalne związane z pomiarami czasów relaksacji spinowej jonów w pojedynczych kropkach kwantowych doprowadziły, w ramach przeprowadzonych badań, do opracowania eliptycznych mikrosoczewek polimerowych wykonywanych techniką druku 3D. Soczewki te pozwalają na pewną poprawę ekstrakcji światła z badanych struktur półprzewodnikowych oraz zwiększenie o ponad rząd wielkości dystansu dzielącego próbkę od elementów optycznych układu pomiarowego.